

ORTA AVRUPA'DA PARTİKÜL TAŞINIMLARININ, PARTİKÜL BOYUT DAĞILIMLARININ VE KONSANTRASYONLARININ ANALİZİ

Wolfgang BRUNNHUBER¹, Pınar HARMANCIOĞLU^{2(*)}, Bülent ATAMER²

¹ GRIMM AEROSOL Technik GmbH & Co, Almanya

² TERRALAB Laboratuvar Malzemeleri San. Ve Tic. A.Ş., Ankara

ÖZET

Toz konsantrasyonlarını tespit etmek için kullanılan resmi metotlar PM₁₀ ve PM_{2.5} ölçme örneklerinde de olduğu gibi ağırlıkça konsantrasyon hesabına dayalıdır. Ağırlıkla ilişkilendirilen konsantrasyon hesabında büyük çaplı partiküllerin miktarı etkindir. Dolayısıyla küçük partiküllerden kaynaklanan riskler sadece tahmin edilebilmektedir ve bu tahminlerin doğruluğu kuşkuludur.

PM₁₀, PM_{2.5} ve PM₁ değerlerinin karşılaştırılması farklı büyüklükteki partiküllerin insan sağlığına yönelik yarattığı riskler ile ilgili daha fazla bilgi sağlayabilecektir. Bu ise partiküllerin sayıca konsantrasyonlarının izlenmesiyle mümkün olabilir. Bu parametre hava kalitesi hakkında, ağırlıkça konsantrasyona göre daha detaylı bilgi vermektedir. Risk potansiyelinin tahmini için kullanılan diğer bir parametre ise partikül boyutu dağılımı olabilir. Partikül sayısına göre konsantrasyon, partikül boyutlarına göre çeşitli aralıklarda sınıflandırılabilir. Böylelikle partikül boyut dağılımının ve diğer parametrelerle ilişkilendirildiğinde kimyasal bileşenlerin sebep olabileceği birleşik riskler konusunda bize ayrıntılı bilgi sağlayabilir.

Çalışmalar göstermiştir ki parmak izi karakteristiği gösteren ultra küçük partiküller (UFPs) uzun menziller arasında taşınmaktadır. Orta Avrupa'da 5 nm ile 32 µm arasındaki partiküllerin ağırlık, sayı ve boyut dağılımının izlenmesine yönelik bir çalışma 300 m yükseklikten örnekleme yapılarak yürütülmüştür. Elde edilen bilgiler, NO, NO₂, NO_x, O₃ gibi çeşitli gazlar ve sıcaklık, nem, yükseklik ve küresel ışıma ile birleştirilmiştir. Bütün bu veriler özel bir veri toplama programında toplanmış, coğrafi durum ile karşılaştırılarak iki ve üç boyutlu diyagramlarla gösterilmiştir.

Bu çalışma sonucunda, partiküllerin ve gazların uzun menzilli taşınımı verilerinin geliştirilecek hava kalitesi parmak izi ile karşılaştırılmasından, emisyon kaynaklarının belirlenebilmesinde yararlanılabileceği belirlenmiştir.

ABSTRACT

The official and legalised method to detect dust concentrations is to determine the mass concentration like PM₁₀ or PM_{2.5}. This mass related concentration is mostly influenced by particles with a large diameter. So the risk potential of the small particles is underestimated. One possibility to get more information about the health risk potential is to compare the PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ values. But it would be more suitable to determine the particle number

* pinar.harmancioglu@terralab.com.tr

concentration called total counts. This parameter gives much more detailed information about the composition of the air, than a dust mass fraction only. Another additional parameter to estimate the risk potential would be the particle size distribution which gives the number concentration for several classes of size. This distribution can give a conclusion of the risk potential caused by the size and in combination with other parameters the risk potential caused by chemical composition.

Studies have shown that especially UFP's (Ultra fine particles) are transported over a long range and that special ratios of parameters can be used as fingerprints for special source categories. Therefore a scientific study in height of 300 m has been made in central Europe which had the target to show the particle size distribution in the fraction of mass and counts of particles between 5 nm to 32 µm. This information when combined with several gas analyses like NO, NO₂, NO_x, O₃ and also temperature, humidity, height and global radiation. All this data when combined in a unique data collection program and shown in 2D and 3D diagrams in comparison to European geographical situations.

The conclusions of this scientific high grad study, presented in this work, have shown very important new information about the transport of particles and gases over longer distances and also possibility to detect the source of pollution by generating an ambient air finger print and so to analyse the complete transport of the particles from its source.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

PM_{2.5}, PM₁₀, PM₁, AB Direktif, Aerosol, WRAS, Partikül Sayısı, Işık Saçınımı

GİRİŞ

PM_{2.5} değerinin Mayıs 2008'den itibaren ölçülmesi gereği Avrupa Birliği direktiflerine girmiştir. Ancak PM_{2.5} kriteri eşik değeri olarak değil sadece hedef değer olarak kullanılmaktadır. Partikül maddelerden kaynaklanan çevresel risklere karşı halen standart PM₁₀ değerini esas almaktadır.

Geniş bir büyüklük aralığında ve yüksek seviyelerde partikül sayımı, ağırlıkça konsantrasyon ölçümüne alternatif bir yöntemdir. Geniş Partikül Büyüklüğü Aralığını Tarayabilen Aerosol Spektrometre (WRAS) olarak adlandırılan cihazla 5,5 nm ile 32 µm büyüklükleri arasındaki partikül maddenin adetleri tespit edilebilmektedir. Bu sistemle veri olarak bir elimizde toplam partikül sayısı, diğer elimizde ise 71 ayrı aralıkta sınıflandırılmış partikül boyutları bulunmaktadır.

2007 Yaz ayları boyunca Berlin Teknik Üniversitesi tarafından böyle bir projenin yürütülmesi için birçok neden vardı. O zamana dek partikül boyutu sınıflandırması çok iyi araştırılmamıştı. Ölçümlerle ilgili deneyim geliştirmek önemliydi. Bunların yanısıra, partikül madde ölçümlerinin aynı zamanda emisyon kaynaklarının tesbiti için kullanılması imkanlarının araştırılması ve uygulanan sistemin ve ölçüm tekniğinin, PM izleme amacıyla kullanmaya elverecek ölçüde güvenilir, bakım gerektirmeyen ve veri toplamaya uygun olup olmadığının sorgulanması gerekiyordu.

MATERYAL VE METOD

Berlin'in kuzey çevresinde, 1980'lerde Frohnau denilen bir radyo vericisi yapılmıştır. 350 m yüksekliğinde olan bu kule çelik konstrüksiyondur. 325inci metresine hava koşullarının incelenmesi için konteyner platformu kurulmuştur. Bu konteyner platformu Mart 2008'e kadar BLUME adı verilen Berlin Senatosu tarafından hava kalitesi kontrolü için kullanılmıştır. Bu özel yapı, uzun menzilli ve Berlin'den gelen kentsel kaynaklı hava kirleticilerinin kısa mesafeli taşınımının ölçümüne olanak sağlamaktadır. Bu kulanin dışındaki alandan herhangi bir konveksiyonel taşınımın mümkün olmaması, kısa mesafeli taşınımı incelemeye elveriyordu.

Bunun da ötesinde, kulanin üzerinde ölçüm yapılan noktada sıklıkla sakin gecelerde hava hareketinin çok az olduğu özel hava koşullarını yaratıyordu. Bu sebeple ölçüm alanı çoğunlukla trafik ve endüstri kaynaklarından direk olarak etkilenmemekteydi.

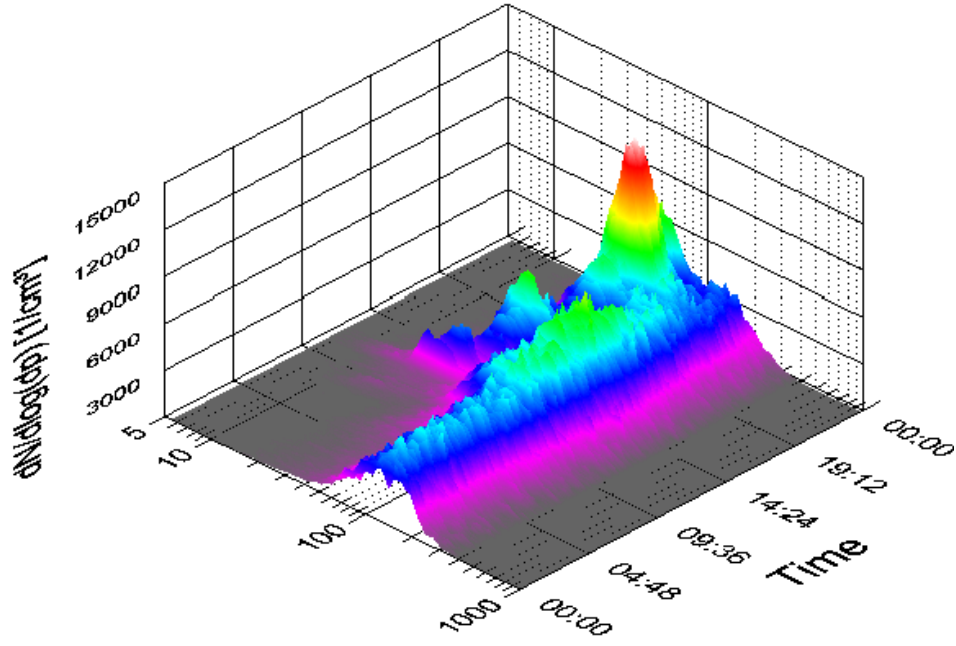
Pek çok ölçüm sistemleri kulelere kurulmuştur. BLUME Network sisteminde GRIMM WRAS sistemi ile kombine edilmiş SMPS+C ve ECM190 cihazları, PM_{2.5} izleyen THERMO SHARP5030, Leckel PM_{2.5} örnekleme başlıklı filtre değiştirici SEQ47/50, NO_x ve O₃ gaz monitörleri bulunmaktadır. Rüzgar, sıcaklık ve nem gibi meteorolojik veriler Theis marka cihazlar ile ölçülmüştür.

WRAS sistemi 71 kanalda boyut sınıflandırması yapabilmekte ve bu kanallardaki partikül sayısını tespit edebilmektedir. Partikül çaplarının tespiti için iki farklı ölçüm tekniği gerekmektedir. 250 nm ile 32 mikron arasında çaplara sahip partiküller doğrudan ışık saçınımı yoluyla tespit edilebilirler. Bu yüzden GRIMM ECM 190 kullanılmıştır. GRIMM SMPS+C sistemi ise 5,5 nm ile 350 nm arasındaki partikül sayımı için kullanılmıştır. Bu partiküller önce Diferansiyel Değişken Analizör (DMA) ile sınıflandırılmıştır. Sonra Yoğunlaşmış Partikül Sayıcı (CPC) ile sayılmıştır. Daha küçük partiküller alkolle doyurulmuş havadan geçirildikten sonra sayılabilirler. Bu iki sistemden elde edilen veriler özel bir yazılımla birleştirilmiştir.

Bu yazılım LabVIEW de geliştirilmiştir. Yazılım, bütün proje boyunca, ölçülen farklı değerleri değişik biçimlerde gösterebilmekte, iki boyutlu, geriye yönelik yörüngeleri hesaplayabilmekte ve görsel olarak sunabilmektedir.

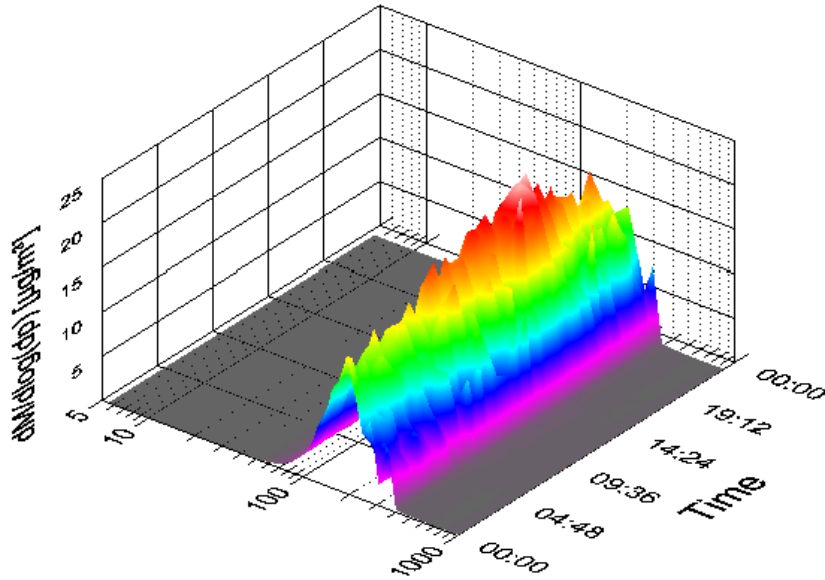
SONUÇLAR

Frohnau kulesinde 325 m yükseklikte yapılan partikül boyutu ölçümleri, havada çok küçük partiküllerin olduğunu göstermektedir. Toplu olarak tespit edilen partiküller 0,1 mikrondan küçük partiküllerdir. Sadece bu küçük partiküller yatay olarak sınıflandırılabilirler ve ihmal edilemedikleri için denizden yüksek yerlerde ölçümleri önemlidir. Daha büyük ve ağır partiküller bu çalışmanın dışındadır. Genel bir boyut sınıflandırma örneği Şekil 1 de gösterilmiştir.



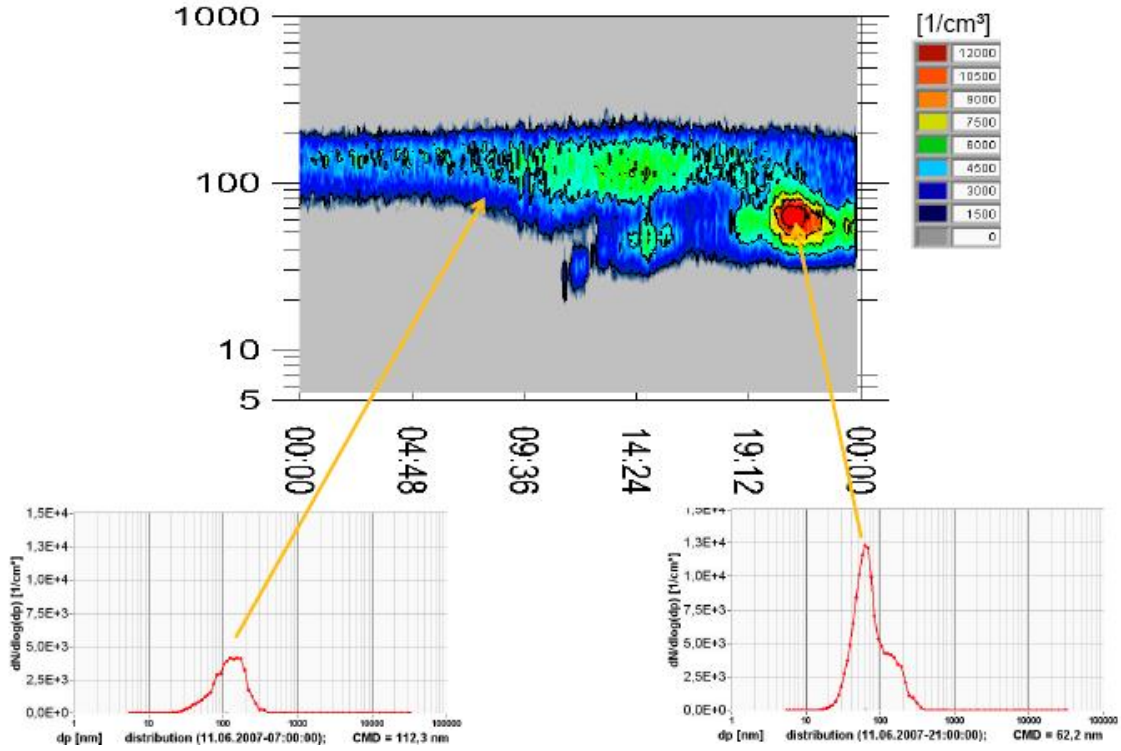
Şekil 1. 11.06.2007 tarihinde denizden yüksekliği 325 m’de, Berlin’de yapılan partikül boyutu sınıflandırma sonucu

Aynı tarihte yapılan ağırlık sınıflandırması Şekil 2’de gösterilmiştir. Hesaplamalarda bazı sadeleştirmeler yapılmıştır. Partiküller ideal küre şeklinde ve yoğunlukları $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ olarak alınmıştır. Böylece çapları 0,1 – 1 mikron arasındaki partiküller için partikül ağırlığı görülmüştür. Bu çap aralığına birikmiş mod denmektedir.



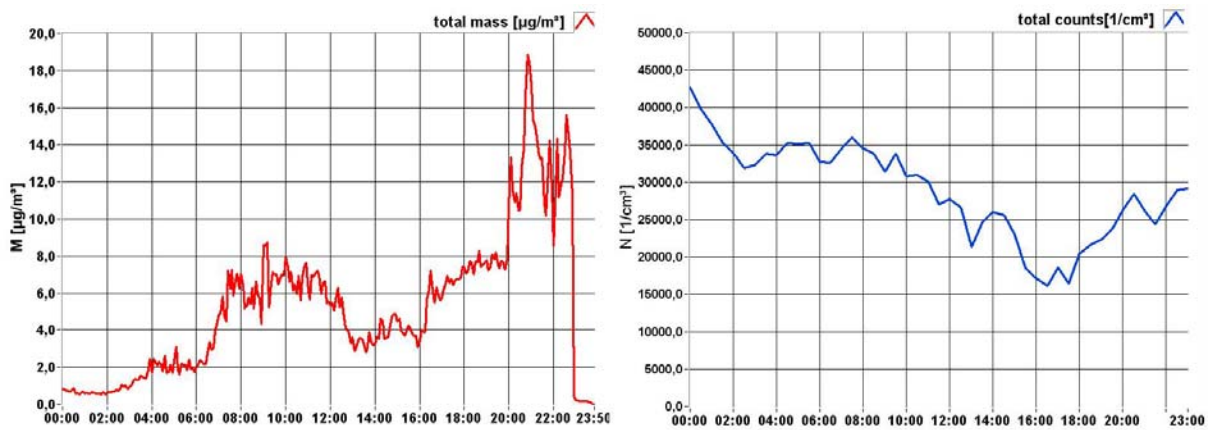
Şekil 2. 11.06.2007 tarihinde denizden yüksekliği 325 m’de, Berlin’de yapılan partikül ağırlığı sınıflandırma sonucu

Şekil 3’te de Şekil 1’de olduğu gibi 11.06.2007 tarihindeki partikül boyutu dağılımı görülmektedir, ancak 2 boyutlu dağılım olarak gösterilmiştir. Grafikteki iki pik noktasının ana grafikteki karşılığı okla gösterilmektedir.



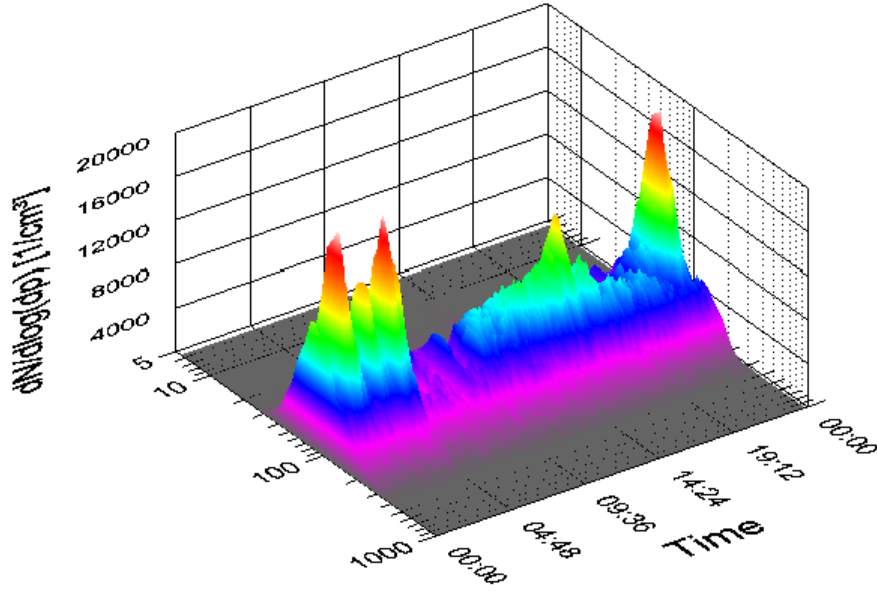
Şekil 3. 11.06.2007 tarihinde denizden yüksekliği 325 m’de, Berlin’de yapılan partikül boyutu sınıflandırma sonucundaki pik noktalarının karşılıkları

Normalde toplam partikül sayısı ile Şekil 4’te gösterilen $PM_{2.5}$ konsantrasyonu arasında ilişki yoktur. Bu yüzden sadece ağırlıkça konsantrasyonla ilgili yeterli bilgiye sahip değiliz. Berlin etrafındaki atmosferik türbülansa bağlı olarak ince partiküller yükseklerde ve aşağılarda karışmış olabilirler. İnce partiküllerin kaynakları, trafikten, termik santrallerden ve fotokimyasal reaksiyonların gerçekleştiği alanlardan yanma sonucu çıkan emisyonlar olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. $PM_{2.5}$ ve toplam partikül sayısı karşılaştırması

Şekil 5’te gösterilen yüksek sayıda partiküller 07.07.2007 tarihinde dikkat çekmiştir. Bu ölçüm tarihi, termik santrallerdeki yanma sonucu çıkan aerosollerin sebep olduğu yüksek hava kirliliğinin olduğu bir gündür ve çok iyi örneklerin çıkmasını sağlamıştır.



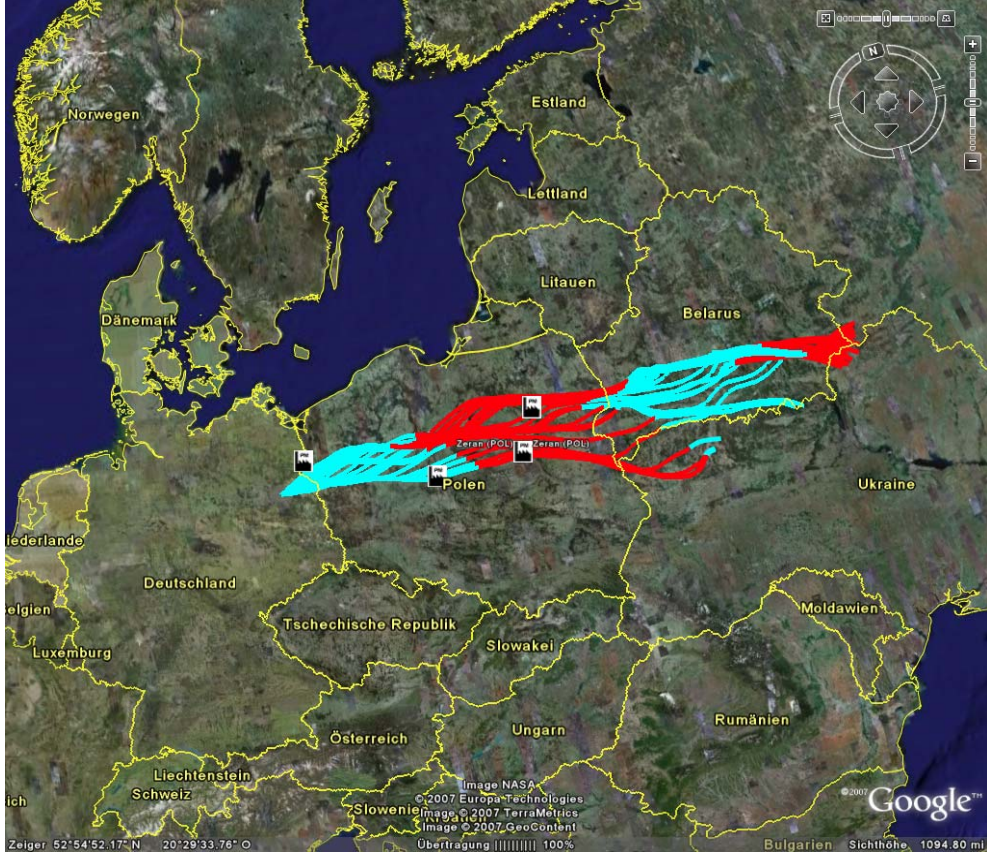
Şekil 5. 07.07.2007 tarihindeki partikül boyut dağılım sonuçları

Bu tarihte iki boyutlu geriye yönelik hesaplamalar hava kirliliğinin Berlin'in doğusundaki, Polonya'daki büyük termik santrallerden kaynaklandığını göstermektedir (Şekil 6). Özellikle kömür yakan santrallerdeki yanma işlemlerinden kaynaklanan ikincil aerosol olarak bilinen sülfat, bu kaynağı doğrulayan ve partiküllerde görülen bir bileşendir. Hava yoğunluğunun yer değiştirmesiyle yüksek yoğunlukta sülfat Doğu ve Güneydoğu bölgelerden Berlin'e doğru gelmektedir (Şekil 7). Bu doğrultuda bulunan Polonya ve Çek Cumhuriyetindeki çok büyük güç santralleri yakıt olarak kömür kullanmaktadır ve yüksek seviyelerde SO₂ ve partikül madde yaymaktadır.

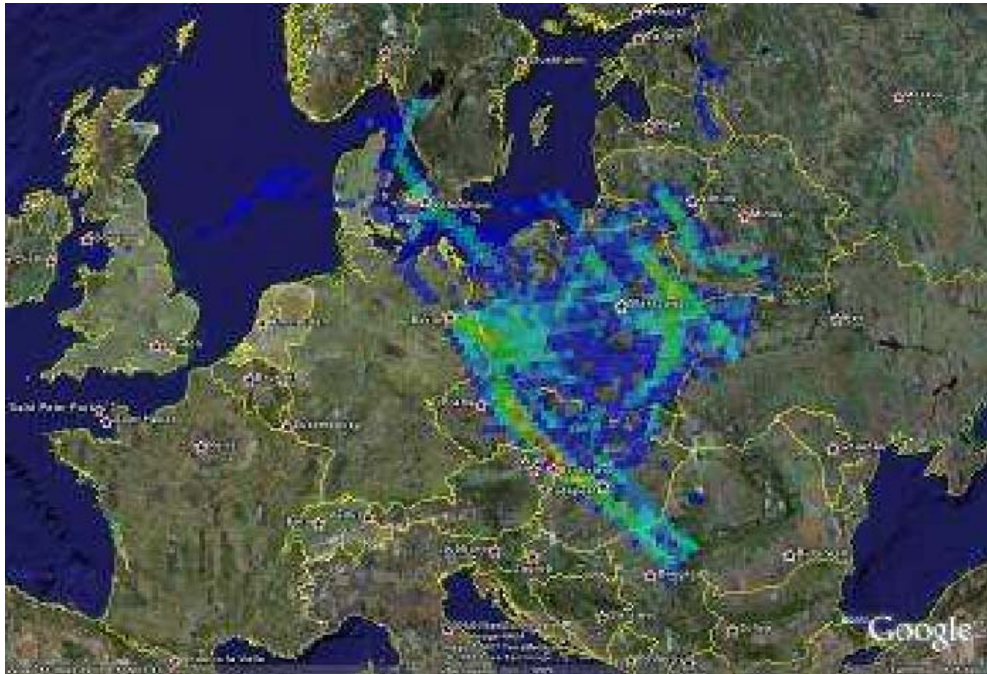
Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilen çalışmaların sonuçları, temiz hava sonuçları ile karşılaştırmalarıdır. Şekil 8'da da görüldüğü gibi 17.06.2007 tarihindeki partikül sayısı gerçekten çok düşük değerlerdir.

Hava yoğunluğu kaynağının 2 boyutlu çalışması Şekil 9'da gösterilmiştir.

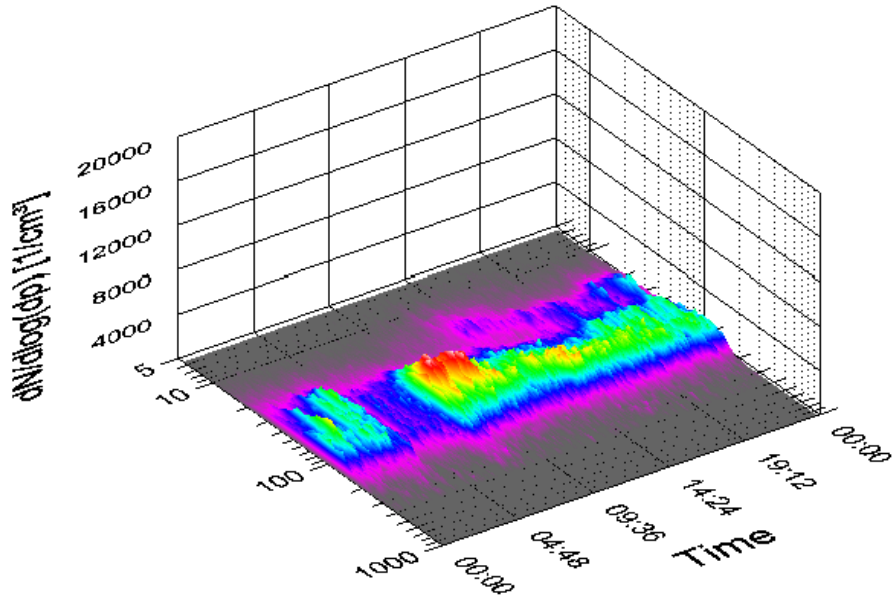
Toplam partikül sayısı ile Ozon konsantrasyonu arasındaki korelasyon bazı günler için tespit edilmiştir. Şekil 10'da 11.06.2007 tarihindeki günlük varyasyonlar görülmektedir. Ozon konsantrasyonu, ikincil aerosollere sebep olan fotokimyasal prosesler için uygun indikatördür ve bu ikincil aerosoller tespit edilebilirler. Ozon molekülleri çok küçük moleküllerdir, bu yüzden direk olarak tespit edilemeyebilirler.



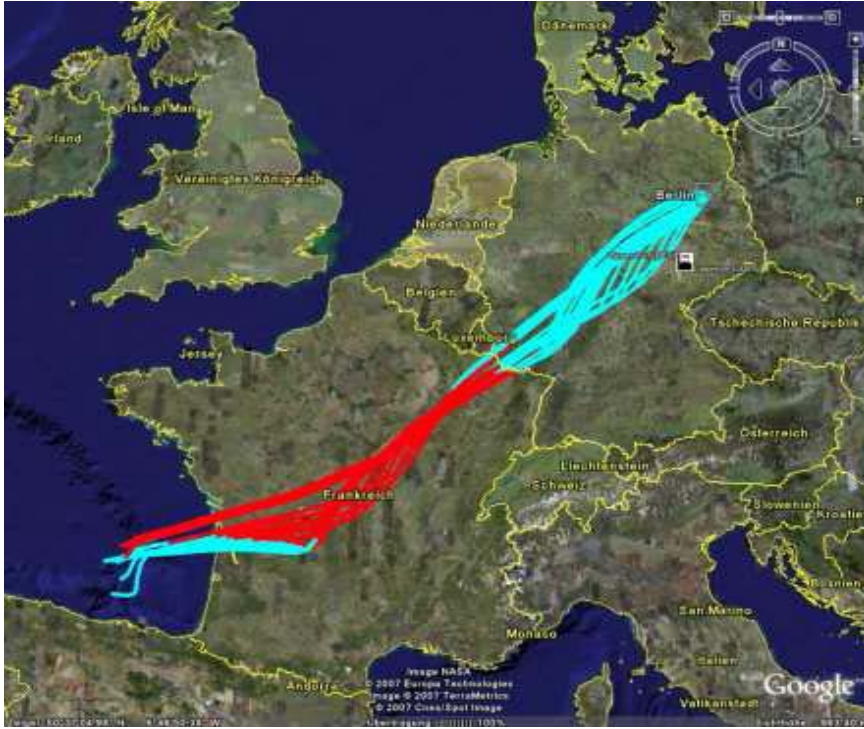
Şekil 6. 07.06.2007 tarihinde Berlin'den başlayan saatlik 2 boyutlu geri yörgeli harita. Her renk 24 saatlik yer değiştirmeleri göstermektedir.



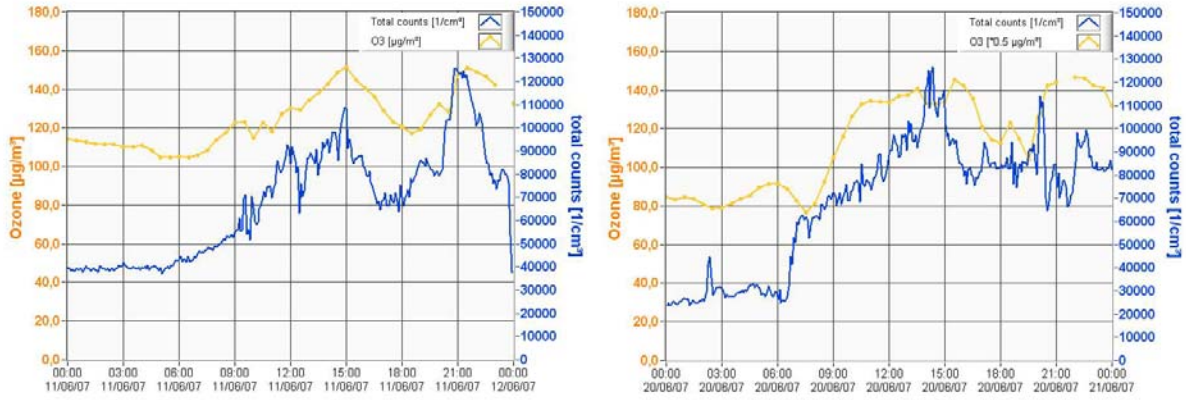
Şekil 7. 01.12.2006 – 31.05.2007 tarihleri arasında Berlin'e taşınan yüksek sülfat konsantrasyonları kaynak noktaları.



Şekil 8. 17.06.2007 tarihinde Berlin – Frohnau'daki partikül sayısı sınıflandırması

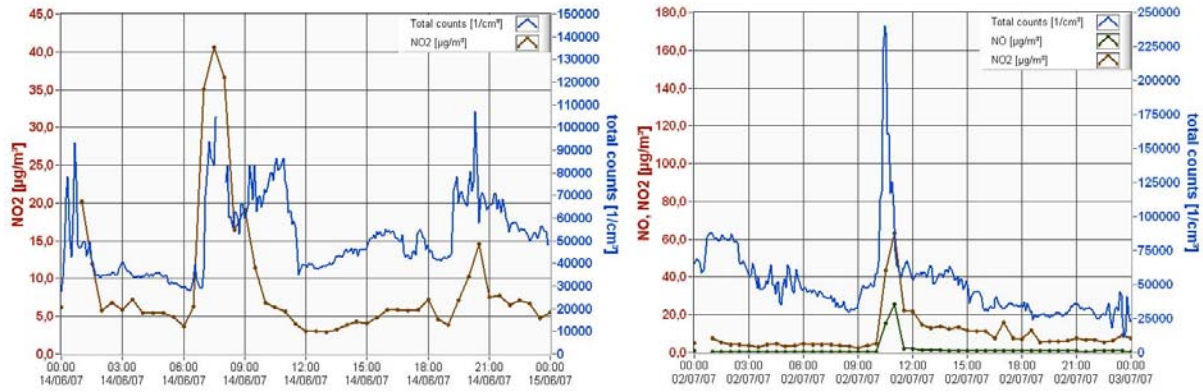


Şekil 9. 17.06.2007 tarihinde Berlin'den başlayan saatlik 2 boyutlu geri yörüngeli harita. Her renk 24 saatlik yer değiştirmeleri göstermektedir.



Şekil 10. 11.06.2007 ve 20.06.2007 tarihli Berlin – Frohnau’da yapılan Ozon konsantrasyonu ve toplam partikül sayısı ölçümlerinin karşılaştırması

Toplam partikül sayısı ve NO ve NO₂ arasındaki korelasyon da bazı günlerde tespit edilmiştir. Bu korelasyon noktaları yanma aerosollerini gösterir çünkü NO_x çok iyi bir yanma prosesi sonucudur. Şekil 11’de bu korelasyon noktalarını görebilirsiniz.



Şekil 11. 14.06.2007 ve 02.07.2007 tarihli Berlin – Frohnau’da yapılan NO₂ konsantrasyonu ve toplam partikül sayısı ölçümlerinin karşılaştırması

DEĞERLENDİRME

Denizden yüksekliği 325 m olan istasyonda yapılan partikül boyutu sınıflandırması analizi, küçük partikül maddelerin sayıca konsantrasyonunun çok yüksek seviyelerde olduğunu göstermiştir. Berlin’de daha yüksek yerlerde yapılan ölçümlerde partikül sayısı değerleri 100.000 partikül cm⁻³,ye kadar ulaşmıştır.

Toplam partikül sayısı ile PM_{2.5} arasında bir korelasyon yoktur ve PM_{2.5} konsantrasyonu, toplam partikül sayısı ile ilgili yeterli bilgi vermemiştir.

Hava kalitesini belirleyen kütlelerin geriye dönük projeksiyonlarının modellenmesinden, partikül madde sayısal konsantrasyonlarında artış görüldüğünde, akımın Polonya ve Çek Cumhuriyeti yönünden geldiği gözlenmiştir. Özellikle güç santralleri yanma sürecinde oluşan aerosoller beraberinde yüksek sülfat ve EC konsantrasyonlarına sebep olmuştur.

Bunun yanında fotokimyasal reaksiyonlardan kaynaklı ikincil aerosoller de tespit edilmiştir. Özellikle ozon konsantrasyonu $120 \mu\text{g m}^{-3}$ 'den yüksek olduğu zamanlarda toplam partikül sayısı ile ozon konsantrasyonu arasında bir korelasyon gözlenmiştir.

Belli hava koşullarında, ultra ince partiküllerin Berlin'in yoğun yerleşim noktalarından kaynaklandığı ve özellikle de trafikten kaynaklanan yanma olaylarıyla oluştuğu gözlenmiştir. GRIMM WRAS ölçüm sisteminin kolay kullanımı olduğu, bakım istemediği ve yüksek mekanik sağlamlığı tespit edilmiştir. Bu yüzden geleceğin sistemi olduğu ve rutin olarak hava kalitesi izleme ağlarında kullanılabilirliği kanıtlanmıştır.

KAYNAKLAR

BLUME. Berliner Luftgütemessnetz.

[Http://www.berlin.de/sen/umwelt/luftqualitaet/de/messnetz/](http://www.berlin.de/sen/umwelt/luftqualitaet/de/messnetz/).

Finkelburg, R. *Analyse eines rechnergestützten Trajektorienmodells zur Darstellung von regionalen Schadstofftransporten*, Project thesis, TU-Berlin 2007a.

Finkelburg, R. *Entwicklung und Anwendung eines rechnergestützten Modells zur Ursachenanalyse großräumiger Luftschadstofftransporte*. Master's thesis, TU-Berlin 2007b

Hartstock, S. *Entwicklung und Anwendung eines Programmes zur 3-dimensionalen Auswertung von Partikelgrößenverteilungen*. Master's thesis, TU-Berlin 2008

Kaiser, J. ve Granmar, M. Mounting Evidence Indicts Fine-Particle Pollution. *News Focus*, 307:1858 –1861 2005.

Koch, W. Ultrafine ve Nanoscaled Particles - Properties, behavior, measurement -. In *AIRMON*. Fraunhofer Institut Toxikologie und Experimentelle Medizin 2005

Pesch, M. 2. Zwischenbericht zur Ursachenanalyse der PM 2,5-Immissionen in Berlin. Technical report, TU-Berlin Fachgebiet Umweltverfahrenstechnik 2007

TrUmF . [Http://www.geo.fu-berlin.de/met/index.html](http://www.geo.fu-berlin.de/met/index.html).

Umweltatlas-Berlin [Http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d311_01.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d311_01.htm).